

# Descripció geomòrfica des Màrmols fins as Balç (Santanyí): un segment modèlic del litoral marinenc a Mallorca

Joan J. FORNÓS, Joaquín GINÉS, Lluís GÓMEZ-PUJOL, Jorge RIQUELME i Vicenç Maria ROSSELLÓ i VERGER

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Fornós, J.J., Ginés, J., Gómez-Pujol, L.I., Riquelme, J. i Rosselló, V.M. 2007. Descripció geomòrfica des Màrmols fins as Balç (Santanyí): un segment modèlic del litoral marinenc a Mallorca. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 259-286. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Es descriu, des d'un punt de vista geomòrfic, el litoral marinenc situat entre la punta des Balç i es caló des Màrmols a la costa sud-oriental de l'illa de Mallorca. El model es basa en una clara interrelació entre els processos fluvials, càrstics i litorals, que afecten la plataforma tabular miocènica preexistent amb una sèrie de formes com cales, olles, barrancs penjats, etc. dins d'una línia de costa caracteritzada per un penya-segat continu de no menys de 20 m d'alçada. Aquestes formes, no responen només als processos actuals, sinó que són resultat de les variacions glacioeustàtiques i climàtiques que han afectat el litoral durant els temps pleistocènics i que hi han deixat l'empremta mitjançant formes d'erosió (rases d'abrasió, captures litorals de formes càrstiques, esbaldrecs...) i processos sedimentaris entre els que destaquen la formació de dipòsits eòlics, sòls i ventalls al·luvials.

**Paraules clau:** Mallorca, geomorfologia costanera, carst litoral, dipòsits pleistocens, colianites.

GEOMORFIC DESCRIPTION OF MÀRMOLS TO AS BALÇ (SANTANYÍ): A LITORAL MODELIC SEGMENT OF MALLORCA. This paper describes the geomorphologic features of the coastline comprised between punta des Balç and es caló des Màrmols (SE Mallorca, Balearic Islands). The coast model enhances interrelation on fluvial, karst and coastal processes operating on a former Miocene tabular platform characterised by a 20 m height cliff with abundant examples of features as *calas* (bights), collapse dolines open to the sea (*olles*), hanging stream incisions, etc. Glacioeustatic and climatic variations that have been operating during Pleistocene times play also an important role that must be added to the current agents and processes in the sculpturing of the forms. Evidences of this former landscape arise from erosional morphologies (inherited shore platforms, marine terraces, karst caves connected to the sea and cliff debris), as well as from sedimentary processes, which results in aeolian, colluvial and alluvial deposits and soil formation.

**Keywords:** Mallorca, coastal geomorphology, littoral karst, Pleistocene deposits, aeolianites.

Joan J. FORNÓS, Joaquín GINÉS, Lluís GÓMEZ-PUJOL, Dept. Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. E-mail: joan.fornos@uib.es ; Jorge RIQUELME i Vicenç Maria ROSSELLÓ, Dept. Geografia, Universitat de València

## Introducció

El conjunt del litoral oriental i meridional de Mallorca presenta una certa similitud geomòrfica com a resultat de la confluència de processos morfològics i sedimentològics diversos (fluvial, càrstic i litoral) que incideixen sobre un mateix substrat litològic (les calcarenites del Miocè superior) que té una disposició tabular aixecada (marines) i mostra un trencament brusc a la línia de costa (penya-segat). La confluència d'aquests processos queda, de més a més, emmarcada dins de la complexa evolució glacioeustàtica que va afectar el litoral mediterrani durant el Pleistocè. La conjunció dels processos erosius, sedimentaris i, és clar, geomòrfics queda perfectament representada en aquest petit segment de costa que ens proposem descriure en detall, i és un model extrapolable a bona part del litoral marinenc del Migjorn i Llevant de Mallorca.

## El referent toponímic

S'han escollit com a fites d'aquest estudi dos indrets amb topònims coneguts, però ben dissonants: Màrmols és, sens dubte, un castellanisme no gaire antic aplicat a penya-segats, tal volta virats o blanquinosos. Balç (pronunciat baus), en canvi, és un magnífic arcaisme (<llatí *balteum*, 'cinyell') que vol dir exactament 'tallserrat', 'penya-segat', 'cingle'. En efecte s'alça sobre la mar fins a 53 m amb un salt de 35 gairebé vertical: un referent mariner de primer ordre (Fig. 1).

Gràcies a la tenaç i perspicax enquesta de Cosme Aguiló, hem pogut retolar -i, de vegades, explicar- molts accidents litorals. Entre les mesoformes d'espadat, es Balç a part, apareixen es Cingle, es Bancassos, sa Falç i s'Enterrossall, topònims tots ells ben transparents. Com a microformes de relleu

positiu, comptam sa Dent, es Banc, que no han mester d'explicar; es Turmassot (5 casos), derivat de torm o tormo, probablement precatalà, és refereix a un tascó o pinacle mètric o decamètric, en alguns casos residu de l'explotació del marès; s'Escull i es Faralló al·ludeixen a una roca o penya mig emergida; ses Orelletes, a una doble punta. Quant a microformes negatives, subratllam es Regatells, sa Seca (roca sotaiguada), es Buits, referit al buidatge del marès; es Cocó i es Migcocó poden ser naturals o artificials. No cal insistir en el genèric cova: n'hi ha dotzenes i, per això, exigeixen un determinatiu, p.e., cova de s'Escaleta des Moro, de ses Lisses, des Vellmarí, etc. Coneixem uns quants dolços, és a dir, surgències d'aigua dolça a nivell de la mar (cala Figuereta, ses Piquetes, es Bancassos) i als paràgrafs següents comentarem un interessant es Terror Roig.

La major part del litoral estudiat (Fig. 2) pertany a la possessió coneguda actualment com es Rafal des Porcs -o es Rafal, per antonomàsia- que en temps de l'Arxiduc (final del segle XIX) era considerada com una gran finca (1.161 ha) cerealista, de les més grans de Mallorca. Encara que els arabistes solen conferir a rafal una categoria inferior, en realitat aquest durant el segle XVI va agrupar tres possessions, el nucli de les quals era Benigebidi, registrada els segles anteriors. El determinatiu des Porcs (que el contraposa as Rafal Genàs) és degut a que la possessió en època no llunyana se'n dedicava a la cria i molts pagesos de l'interior hi acudien a comprar els porcellins.

## El basament geològic

La naturalesa litològica del basament de la zona estudiada és carbonatada en la seva totalitat (calcarenites) i pertany a les diver-

ses unitats que han estat descrites dins del Miocè superior, essent representades totes elles, amb variacions puntuals de potència i d'aflorament, a totes les marines que han estat descrites des d'un punt de vista geològic com a plataformes neògenes per Pomar *et al.* (1985). Dins de la seqüència postorogènica neògena, s'inclouen sis unitats: quatre corresponents al Miocè superior, les Calcsiltites amb Heterostegina (Pomar *et al.*, 1983), la Unitat Escullosa o Complex Escullós (Barón, 1977, Esteban, 1979/80), les Margues de la Bonanova i les Calcàries de Santanyí (Fornós i Pomar, 1984) i dues al Pliocè, les Calcsiltites de Son Mir i les Calcarenites de Sant Jordi.

A la zona estudiada només afloren dues de les unitats miocèniques: a la base i de forma pràcticament testimonial, la Unitat Escullosa, mentre que les Calcàries de Santanyí conformen la major part de la gruixa representada als espadats litorals. El

paper de les unitats observables a la seqüència que aflora als penya-segats litorals és molt similar encara que presenta variacions de fàcies deposicionals importants. Així, a la base s'hi pot reconèixer una unitat calcària molt més resistent a l'erosió mecànica marina (clarament visible a la punta des Balç, Fig. 1), que dóna lloc a una clara plataforma que sobresurt entre dos i tres metres d'altura i sobre la qual es desenvolupa un rascler litoral molt espectacular. Es tracta de la Unitat Escullosa formada aquí per un *grainstone* bioclàstic, localment *rudstone* amb abundant macrofauna, compost per conques trencades de mol·luscs, on s'hi poden observar també colònies de corall; una estratificació poc aparent li confereix un aspecte massiu i un color groc-vermellós, fruit de la forta carsificació que sol observar-s'hi i que marca el contacte amb la unitat superior (Fornós, 1999).



Fig. 1. Punta des Balç, un referent mariner de primer ordre, format per les calcàries del Miocè superior. Cabrera i l'illot de l'Imperial al fons.

Fig. 1. Punta des Balç, a sailor-man milestone build up by the Upper Miocene limestones. Cabrera island and l'Imperial islet at the back of the picture.





**Fig. 2.** Localització de l'àrea estudiada amb indicació dels principals trets morfològics i estructurals.  
*Fig. 2.* Location of the studied area with indication of the main morphological and structural features.

Per sobre d'aquesta unitat s'hi disposen les Calcàries de Santanyí amb una potència a la punta des Balç de fins a 50 m (Fig. 1) que són poc menys de 40 m a cala Màrmols. Aquesta unitat presenta diverses fàcies deposicionals, dins d'una seqüència transgressiva, iniciada a la base amb una alternança de nivells d'argiles verdes amb còdols ennegrits que localment formen bretxes i a les que s'observen restes d'arrels, ostràcodes i miliòlids, i calcisiltites (*wackestones-packstones*) de color blanc amb miliòlids i peloides amb acumulacions puntuals de mol·luscs de porositat de motle. L'estratificació horitzontal és molt marcada amb pinçaments laterals; s'hi aprecien estructures verticals atribuïdes a arrels hidromorfes entre les quals són freqüents els nius amb pectínids i ostreïds a la base de les capes. Aquestes fàcies s'atribueixen a un ambient intermareal on vegetaven els mangles (Fornós i Pomar, 1982). Sobre aquests nivells s'hi deposita una fàcies fangosa carbonatada (*mudstone*) amb ripples d'oscil·lació i capes amb conques orientades de *Tellina* sp., que evoluciona en la vertical a laminetes criptalgals que indiquen un ambient molt protegit i restringit. Mitjançant un contacte erosiu, es disposa el gruix de la seqüència de les Calcàries de Santanyí, format per una alternança de calcàries oolítiques (*grainstone*) i capes estromatolítiques que presenten domos de més de 2 m de diàmetre. Els nivells oolítics, els integren arenes de gra mitjà que incorporen, especialment a sostre, abundants fragments esquelètics i altres intraclasts que solen presentar imbricació. El paper de les estructures sedimentàries hi és important. S'hi poden observar estratificacions encreuades de petita i mitjana escala, *festoon*, laminació en espina de peix (*herringbone*), especialment a sostre de la seqüència, mentre que a la base, on la mida de gra dismi-

nueix, és més freqüent la laminació *flaser*, *lensen*, lenticular i també la presència de ripples d'oscil·lació. El conjunt és interpretat com a una plana arenosa intermareal estabilitzada (*oolitic sand shoal*). Cap al sud, a la zona des Màrmols, aquestes fàcies corresponen a canals submareals en els que és clarament visible l'estratificació encreuada de gran escala (Fig. 3). La seqüència miocènica acaba amb uns nivells formats per domos estromatolítiques, que litològicament corresponen a dolomies força recristallitzades amb cristalls clarament visibles. Aquests dipòsits mostren una coloració fosca (fins i tot negra), amb un alt grau de porositat que confereix a la roca un aspecte de "gruyère", i constitueixen el nivell superior del relleu tabular de la plataforma.

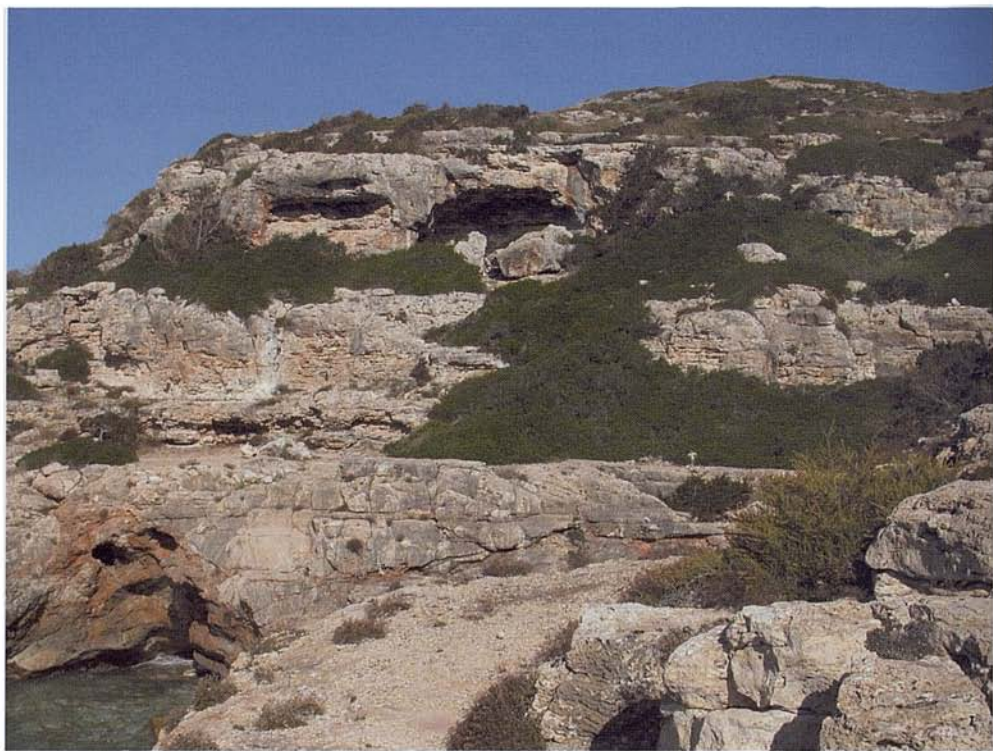
### Una pinzellada geomorfològica

El territori que analitzam en aquest article abasta uns quatre quilòmetres de front litoral i un i mig de penetració continental. El traçat gairebé rectilini de la costa (N 40°, aproximadament) suggereix un accident tectònic determinant que afecta el planell carbonàtic, una mica més elevat al NE que al SW. El caràcter massiu del rocam no ofereix gaire estratificació, però la tendència a un declivi d'un 16 ‰ vers el SE és fàcil de comprovar. L'alçària màxima no depassa gaire els 60 m s.n.m. (sa talaia Grossa -poblat talaiòtic-, na Gosta) i el front litoral s'alça prop dels 40 m al sector septentrional mentre que el meridional roman entorn dels 25 m. El tram des Màrmols, que centra la nostra atenció i conté la cala més desenvolupada, correspon a un bloc enfonsat de 500 per 1.000 m entre fractures perpendiculars a la costa, fenomen que es repeteix en proporcions més modestes al torrent d'en Barragot i cala Figuereta.



L'abassegador control estructural, que es manifesta en la topografia en el trencament i caiguda vertical del planell calcari arran de mar, ofereix alguns matisos més enllà del flanc meridional de cala Figuereta i fins a la punta de Can Barragot. La topografia desconcertant en aquest paisatge subhoritzontal sembla respondre a un sector de glacis que fossilitza un antic penya-segat avui entapissat per un cos de sediments eòlics, al·luvials i col·luvials amb seccions ben visibles entre sa Dent i es Màrmols, sa punta des Màrmols i na Fonda i més cap al sud devers el torrent des Bous i el Rost d'en Cervera (Fig. 4).

Els torrents, molt curts (menys de 1.000 m), aprofiten les fractures: ses Orelletes, cala Figuereta, es Màrmols i d'en Barragot, encanyonant-se enèrgicament la majoria, però n'hi ha de penjats com el que cau a la punta de sa Plana i el des Barret des Capellà. Els que connecten amb la mar, tanmateix, acaben en cul de sac -com el des Màrmols, 400 m endins-, o el de Cala Figuereta que fa un salt a +10 m i només s'encaixona en un tram molt curt vers ponent. L'efectivitat hidrològica és actualment nul·la ja que els torrents no compensen ni de molt la infiltració càrstica, ni llur migrada conca.



**Fig. 3.** Estructures sedimentàries submareals dins de la seqüència de les Calcàries de Santanyí del Miocè superior as Màrmols.

*Fig. 3.* Subtidal sedimentary structures observable at Es Màrmols site, corresponding to the Upper Miocene sequence called Santanyí Limestones.

Les formes paisatgístiques més remarcables en superfície són algunes dolines, part de les quals transcendeixen a la toponímia (Fig. 2). La més extensa, amb un diàmetre superior als 700 m és el clot des Revellar que té el fons a 54 m i les poc marcades vores a 57, i s'eixampla vers NW a sa Bassa Clota. La des Matar Gran, de 250 m d'amplària i fons a 60 m, és travessada per la carretera del far des Cap de ses Salines. Un replà anomenat justament sa Plana, també dins la possessió des Rafal des Porcs, a 47 m d'altitud, insinua una lleugera concavitat; fins i tot la mateixa cova des Drac -de la que tot seguit ens ocuparem- presenta un dels

seus accessos obert en el fons d'una petita dolina rocosa d'escala tan sols mètrica.

### Les formes endocàrstiques penetrables

El sector meridional de la regió càrstica de les Marines de Migjorn i de Llevant es caracteritza per una migrada presència de cavitats naturals rellevants, que contrasta amb els abundants fenòmens subterranis existents als sectors costaners dels municipis de Felanitx i, sobretot, de Manacor (Ginés i Ginés, 1987). Aquest fet sembla relacionat amb l'aflorament majoritari —cap al sud, i en concret a la zona en estudi—



**Fig. 4.** Sud enllà de cala Figuereta aflora una seqüència pleistocènica. Observi's el canvi de pendent (a) formada per una alternança de dipòsits col·luvials, al·luvials, sòls (b) i eolianites (c) (Pleistocè mitjà i superior) que descansen sobre el basament miocènic (d).

**Fig. 4.** Towards the south of Cala Figuereta a pleistocene sedimentary sequence outcrops. Note the breaking of slope (a) formed by alternating colluvial and alluvial deposits, soils (b) and aeolianites (c) (Middle and Upper Pleistocene), that overlie the Miocene basement (d).



dels materials del Miocè superior pertanyents a la unitat Calcàries de Santanyi, els quals resulten molt menys favorables a la carstificació que les unitats esculloses que, de manera extensiva, afloren en llocs més septentrionals.

Als penya-segats del sector costaner que ens ocupa sovintegen les petites cavitats de tipologia ben diversa, relacionades genèticament tant amb processos de dissolució càrstica com amb l'acció exclusiva de la dinàmica marina; no obstant això, als espadats litorals no es coneixen fins al moment coves d'una certa importància. Malgrat la relativa pobresa espeleològica que ja hem esmentat, les terres del Rafal des Porcs estotgen algunes formes endocàrstiques singulars dins del panorama espeleològic del Migjorn de Mallorca (Fig. 5) que mereixen una atenció detallada.

La cavitat més remarcable és, sens dubte, la cova des Drac, situada a uns 400 m de la línia de costa i uns 800 m a l'oest del promontori des Balç. Consisteix en una gran sala (d'uns 30 m d'amplada i uns 80 m de longitud) accessible mitjançant dues obertu-

res, una de les quals és un esfondrament cenital de la volta que, amb un desnivell vertical de 10 m, ens situa a l'àpex d'una gran acumulació cònica de blocs rocosos despresos del sòtil i de les parets de la cova (Fig. 6). En direcció est, la sala descendeix fins als 52 m de fondària, lloc on s'assoleix el nivell freàtic actual materialitzat en un petit estany d'aigua salabrosa. A una cota aproximada de 28 m s.n.m., és possible accedir a un antic conducte de secció reduïda (al voltant d'un metre i mig d'alçada mitjana) que es dirigeix cap al SE al llarg de més de 400 m. Convé destacar la dicotomia morfològica entre la gran sala principal —a la qual predominen les formes relacionades amb els reajustaments mecànics de la massa rocosa— i la galeria freàtica que apareix penjada en un dels costats de la gran sala. Aquesta dicotomia posa en evidència, per una banda, l'existència pretèrita d'actius processos d'espeleogènesi a cotes properes o inferiors al nivell marí actual (dins els materials de la Unitat Escullosa) al temps que, per altra banda, queda també ben palesa la presència de conductes —no funcionals

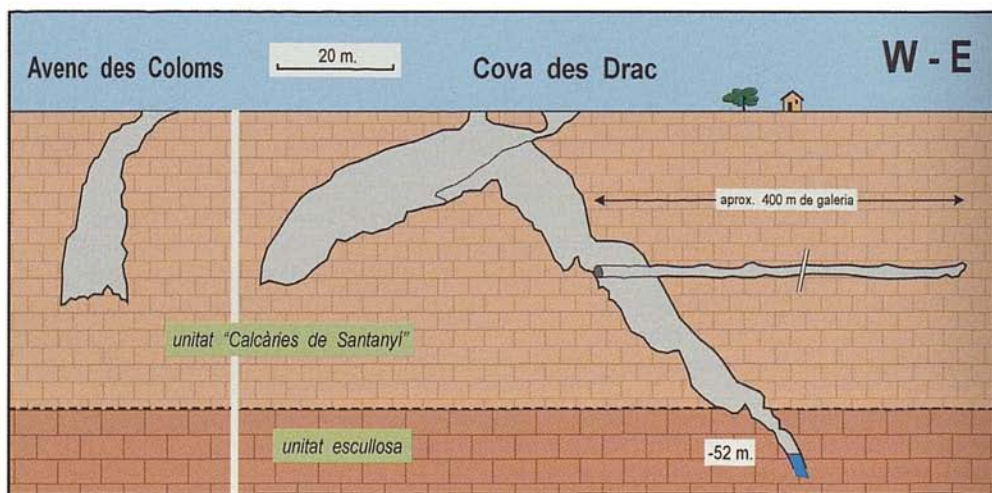


Fig. 5. Seccions esquemàtiques de les dos principals cavitats del Rafal des Porcs.

*Fig. 5. Schematic profiles of the two main underground cavities in Rafal des Porcs area.*





**Fig. 6.** Obertura zenital de la cova des Drac.

*Fig. 6.* Collapse opening in the roof of Cova des Drac.

ara— desenvolupats a favor de l'estratificació subhoritzontal dels materials oolítics suprajacents, corresponents a les denominades Calcàries de Santanyí.

L'altra forma subterrània destacable a la zona és l'avenc des Coloms, que s'obre a escassos 250 m al N de la cova des Drac, abans descrita. Es tracta d'una cavitat vertical propera als 30 m de desnivell, que presenta una planta d'uns 10 per 30 m, allargassada en direcció NW-SE. La seva morfologia és la típica de les sales d'abisament, que tant abunden als materials postorogènics del Miocè superior del Migjorn i Llevant de l'i-

lla (Ginés, 1995), encara que resulta ben cridanera la notable verticalitat de l'acumulació de blocs rocosos que constitueixen una de les parets de la cavitat.

Als dos casos descrits abans, resulten del tot dominants els processos relacionats amb l'esfondrament i reajustament mecànic de les sales de grans dimensions accessibles avui en dia. Aquestes grans sales requereixen l'existència de protocavitats i buits inicials (Ginés i Ginés, 1992; Ginés, 1995), que amb molta probabilitat s'haurien generat en condicions freàtiques, i de forma més o manco extensiva, en la Unitat Escullosa



**Fig. 7.** Dipòsits col·luvials i al·luvials relacionats amb els sistemes dunars del Pleistocè inferior i superior. A) Dipòsit col·lupal de peu de penya-segat; B) Dipòsit al·lupal i C) font dels clasts d'aquest tipus de registre; D) evolució dels dipòsits al·luvials- col·luvials en nivells de sòls.

**Fig. 7.** Colluvial and alluvial deposits related to the Upper and Lower Pleistocene dune systems. A) colluvial deposit at the cliff foot; B) alluvial deposit; C) source of the clasts forming this kind of register; D) evolution of the alluvial-colluvial deposits to soil layers.



que aflora a la part inferior de la seqüència del Miocè superior de la zona en estudi. Els esmentats buits primigenis serien els responsables del posterior creixement tridimensional i l'emigració antigraavitacional de les coves actualment penetrables; aquesta evolució s'hauria produït en condicions majoritàriament vadoses, alternant amb episodis d'inundació freàtica parcial durant els ascensos relatius del nivell marí. Malgrat que el principal horitzó d'espeleogènesi presumiblement ha de correspondre a les fàcies d'escull, els materials calcarenítics del Complex Terminal (Calcàries de Santanyí) també experimentaren actius processos espeleogenètics, encara que probablement no tan extensius com els produïts a la Unitat Escullosa subjacent, ni necessàriament coincidents en el temps.

### Els dipòsits pleistocènics

Un tret característic i fonamental per a la correcta interpretació de l'evolució del tram de costa considerat, són els dipòsits quaternaris atribuïts al Pleistocè mitjà (Butzer i Cuerda, 1962) i Pleistocè superior (Clemmensen *et al.*, 2001). Deixant de banda el cas concret des Terrer Roig del que parlarem més endavant, des de cala Figuereta cap al sud, comença a aflorar de forma més o menys contínua al llarg de tota la costa, una seqüència pleistocènica formada per una alternança de dipòsits col·luvials, al·luvials, sòls i eolianites (Pleistocè mitjà i superior) que descansen sobre el basament miocènic (Fig. 4). De més a més, també cal fer esment dels dipòsits col·luvials basals i dels interdigitats amb el seguit de pegats de dunes adossades als penya-segats (Pleistocè superior) que apareixen amb insistència.

### Els dipòsits al·luvials i col·luvials (Pleistocè mitjà-superior)

El seguiment dels processos de retrocés de la línia de costa actual ha permès estudiar fenòmens de moviments de massa, bé com a desprendiment de grànuls o fragments de roca (Balaguer i Fornós, 2004) de grans dimensions (Balaguer *et al.*, 2002; Felton, 2002), que permeten la reinterpretació més detallada dels dipòsits pleistocènics que fins ara s'havien tocat de passada (Butzer i Cuerda, 1962) o s'interpretaven amb una certa prudència i distància com els de la Unitat Complexa de Clemmensen *et al.* (2001).

Els dipòsits de peu de penya-segat, els formen tot un seguit heteromètric de fragments angulosos de roca despresa, amb dimensions que abracen des de blocs de més de mig metre d'eix major fins a petits grànuls (2 mm). Hi ha blocs que superen els 2 m (Fig. 7A). No es disposen en cap orientació preferent; només es pot apreciar una imbricació incipient dels palets i còdols que reomplen els espais entre blocs. La matriu d'aquesta breixa és d'una textura arenosa i llimosa, d'origen eòlic i bioclàstic. La fracció fina deriva de la meteorització de les arenas eòliques, com també dels moviments de massa dels penya-segats.

Un segon tipus de bretxes del segment estudiat té entre d'altres un caràcter homomètric dels palets i els còdols, que també mostren una textura angulosa i subangulosa. La fàbrica d'aquests dipòsits està granosuportada i presenta una lleugera orientació seguint el rost cap al mar. La matriu està formada per arenas i majoritàriament per materials fins de color vermellós i sembla provenir del nivell eòlic i de sòls poc desenvolupats que s'hi superposen (Fig. 7B). Aquest dipòsit suggereix el trans-

port per un corrent d'aigua efímer i puntual de fragments de roca miocènica que, per alteració química i mecànica, s'escampen sobre el planell calcari (Fig. 7C). Sobre els dipòsits al·luvials s'han format sòls, a partir de la matriu fina, d'escassa potència. Tal i com també succeeix als dipòsits de penya-segat, abunden exemplars de gasteròpodes terrestres quaternaris (*Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Iberellus companyonii*, en alguns casos, *Chondrula gymnesica*).

Finalment, un tercer tipus de fàcies sedimentàries, el conformen uns dipòsits de naturalesa mixta que es troben a cavall entre els dipòsits col·luvials i els al·luvials. Combinen característiques intermèdies entre els dipòsits de peu de penya-segat i

els de transport efímer de vessant, que hem descrit abans. Especialment a les dunes adossades del Pleistocè superior, aquests sediments interactuen amb els propis materials de les dunes, donant dipòsits típicament continentals consistents en blocs de petites dimensions transportats per corrents efímers sobre la cara de sobrevent de la duna. Aquesta circumstància justifica que els testimonis d'aquesta interacció es designin com a Unitat Complexa (Clemmensen *et al.*, 2001).

### *Les eolianites (Pleistocè superior)*

A banda de les dunes actuals, pràcticament reduïdes a l'acabatall del torrent des



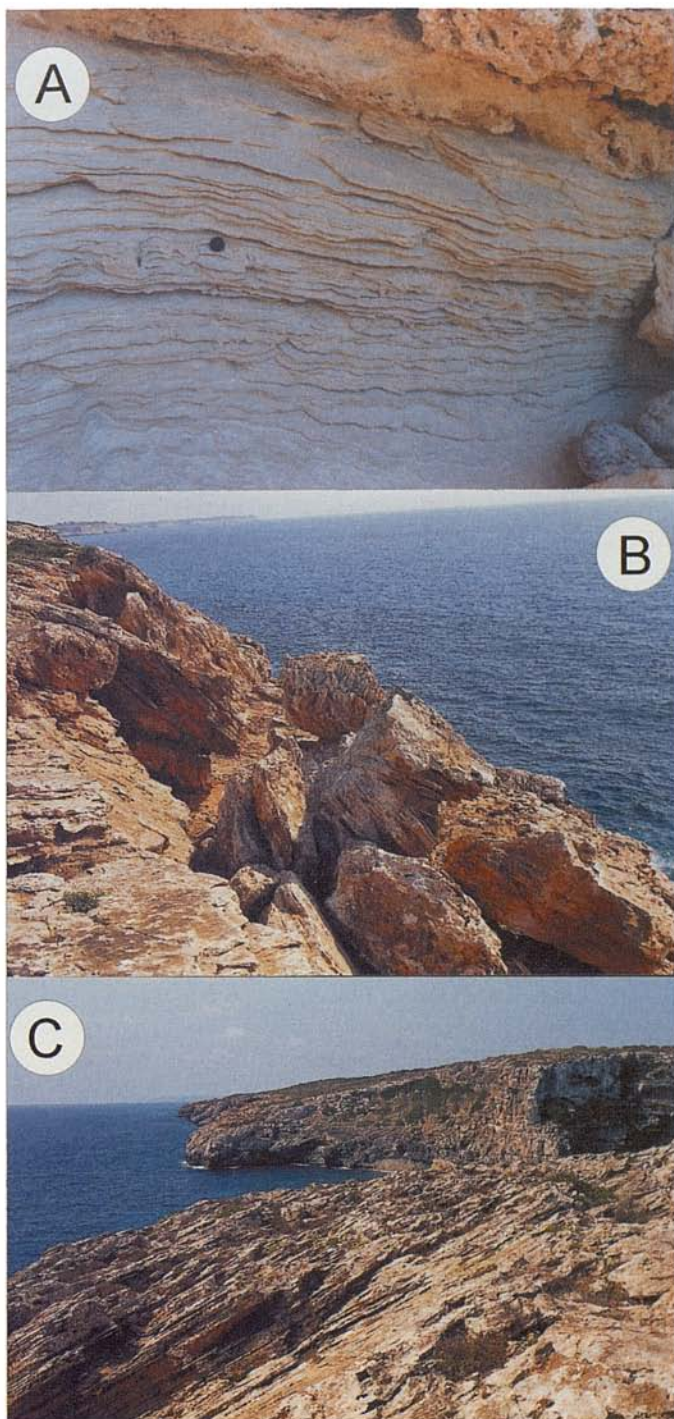
**Fig. 8.** Dunes adossades del Pleistocè superior a la zona de ses Piquetes, vista des des Balç.

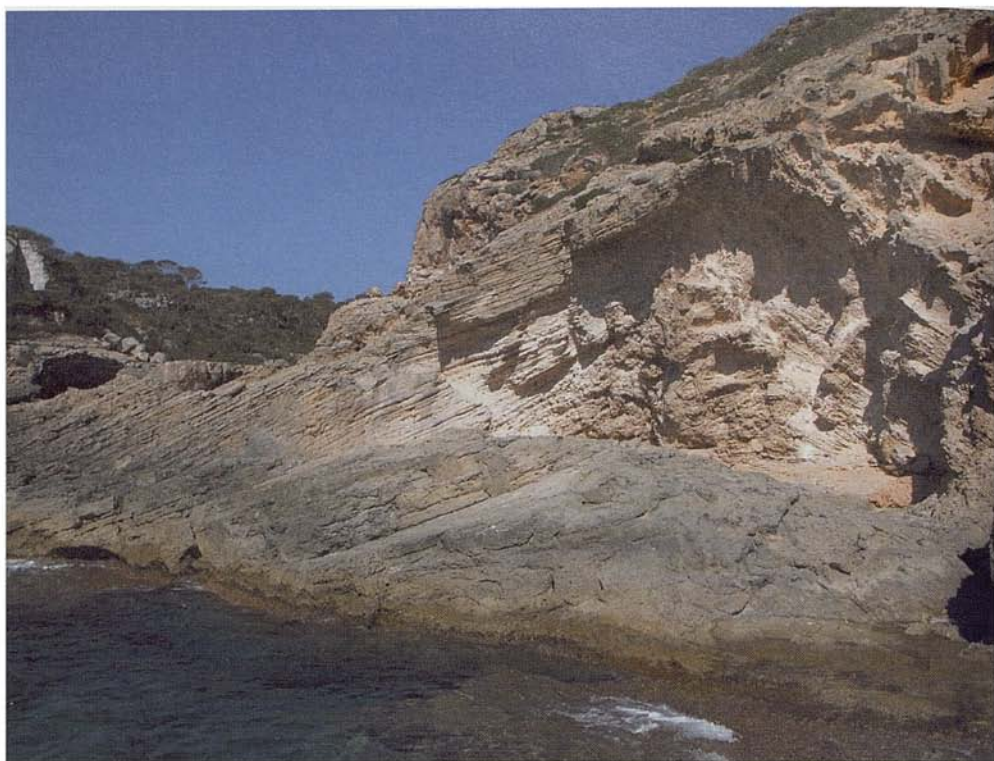
*Fig. 8.* Upper Pleistocene climbing dunes at Ses Piquetes zone, observed in a picture taken from Es Balç.



**Fig. 9.** L'estructura dels sets dins els mantells grimpadors s'aprecia magníficament a l'Après (A); blocs descavalcats de les dunes cimales de sa Dent sobre la formació grimpadora (B); abans d'arribar al caló des Màrmols (sa Dent), el cim de l'espadat és cobert per un mantell prim de top dunes (C)

*Fig. 9.* At l'Après site, the sets structure of the climbing beds is clearly visible. A) blocks from the upper dunes fall on the climbing aeolian formation; B) in arriving to Caló des Màrmols (Sa Dent), the cliff edge is covered by a thin layer of top dunes (C).





**Fig. 10.** El sistema dunar pleistocènic des Màrmols.

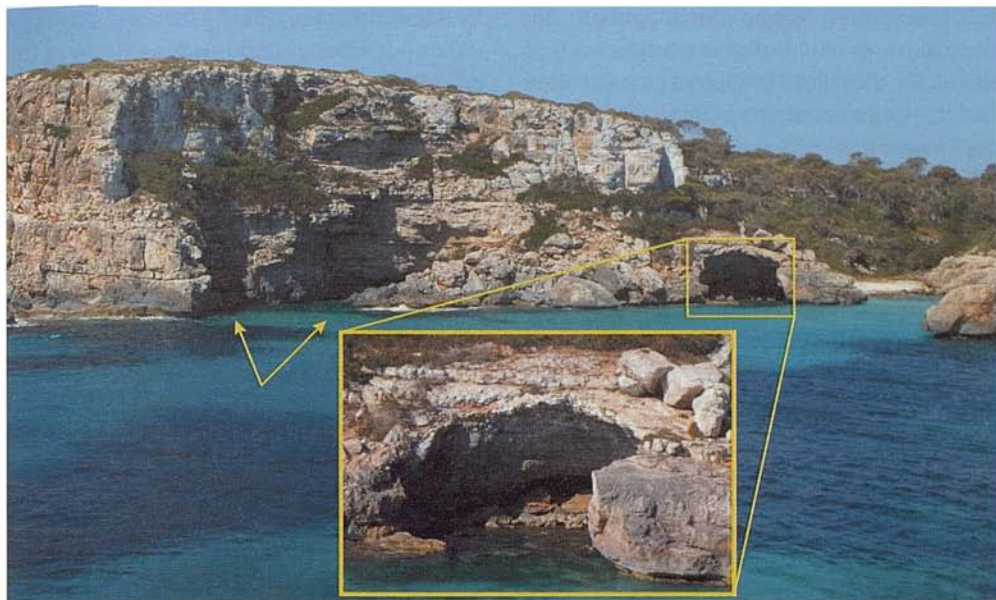
*Fig. 10.* The pleistocenic dune system existing at Es Màrmols.

Màrmols, el que abunda és la duna o millor eolianita del Pleistocè (superior), de composició similar a les actuals, però molt més desenvolupada a causa de les regressions marines. Així, les anàlisis efectuades indiquen que es tracta de biocalcarenites formades en la major part per fragments de mol·luscs, algues coral·linàcies i foraminífers bentònics i, en menor mesura, oòlits i litoclasts calcaris. Des d'un punt de vista textural, es tracta d'arenas de gra mitjà a fi, moderadament classificades, amb els grans d'arredonits a subarredonits, un grau baix de cimentació (ciment de menisc i esparític) i amb una abundant porositat interpartícula. La mineralogia és calcítica, encara que hi ha una petita proporció (<10%) d'aragonita i

dolomita. El quars hi és present de forma testimonial.

Encara que no sempre mostren discontinuïtat des d'un punt de vista sedimentològic, podem distingir, a grans trets, dos tipus d'eolianita: a) la corresponent a dunes grimpadores i b) les top dunes (de cim o cimales), que s'escampen a partir del cantell dels penya-segats. La primera modalitat és, de molt, la més voluminosa i ha propiciat nombroses pedreres de marès i un autèntic modelat antròpic de la costa. Cal anotar, de més a més, que el buidament de la base de les eolianites grimpadores per l'onatge i la dissolució provoquen una mena d'esfondraments que solen acabar en un embrió de cala.





**Fig. 11.** Vora S des Màrmols on s'observa la característica forma de cala, condicionada pels esfondraments semi-circulars i coves d'abrasió marina.

**Fig. 11.** Southern side of Es Màrmols bight. Note the characteristic cala shape, which is conditioned by both semi-circular collapse features and marine erosion caves.



**Fig. 12.** Es Terrer Roig, rebliment al·luvial pleistocènic d'un col·lapse, limitat per fractures dins del Miocè.

**Fig. 12.** Es Terrer Roig. It contains an alluvial pleistocene sequence that fills a collapse feature delimited by fractures affecting the Miocene rocks.

Les dunes grimpadores poden començar en un nivell de base inferior a 0 m -tal volta, desenes de metres per davall- i llur disposició contraposa uns mantells que capbussen mar endins (sobrevent) de 40 a 60° i cap a terra (sotavent) de 60 a 80°, deixant de vegades el solc propi de les dunes eco. Òbviament s'adossen a un penya-segat que deu ser resultat d'una fractura, a judicar per la seva alineació. Les dunes cimales amb prou feines depassen el gruix d'1 o 2 m.

Clemmensen *et al.* (2001) fan una bona descripció de l'estratigrafia de les eolianites tot diferenciant dins d'aquest sistema basal, diversos episodis de tipus climàtic marcats per la presència d'intercalacions de tipus al·luvial i col·luvial i atribuint-los al Pleistocè superior (OIS 3).

Un repàs de N a S ens permet més concreció. Des des Balç fins a ses Piquetes i recolzat en una fractura que formà un escaló de 40 m, trobam un gran conjunt bigarrat

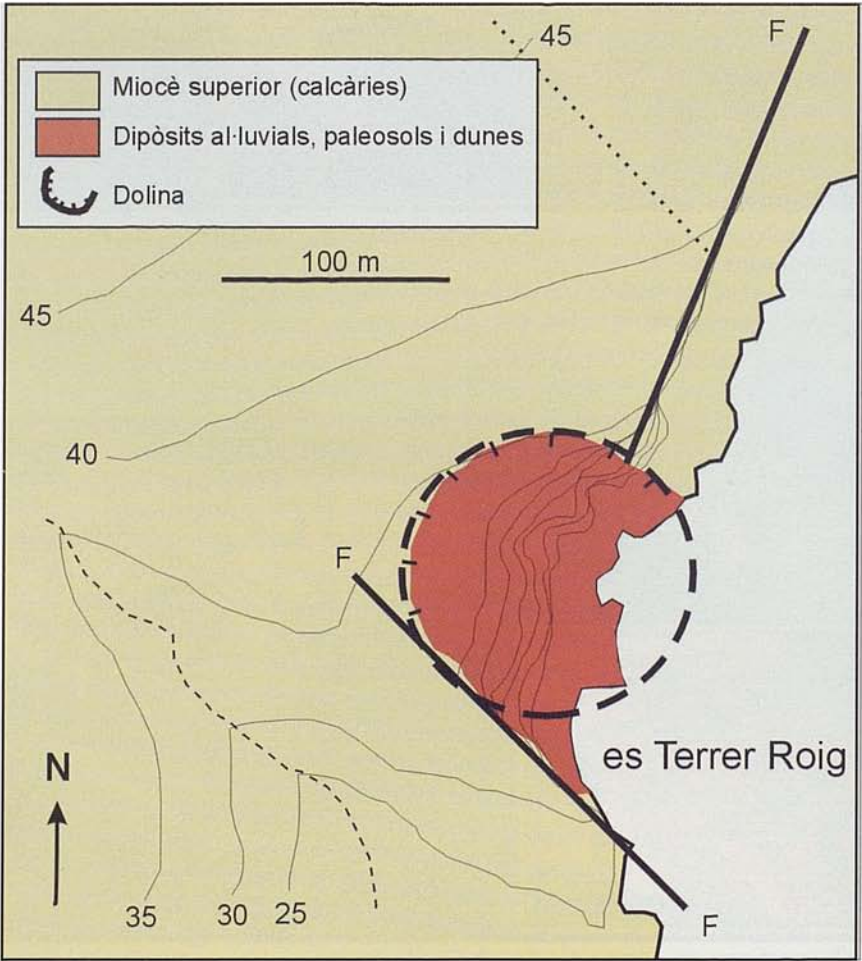


Fig. 13. Esquema estructural del rebliment pleistocènic de la zona des Terrer Roig.  
Fig. 13. Structural sketch of the pleistocenic infillings at Es Terrer Roig.



eolianític amb penínsules, esculls i incisions (Fig. 8); té un gran interès natural i antropològic. Butzer (1962) atribueix la peanya de sa punta des Balç i es Migcóc a un nivell tirrenià a +3 m i una cova del tallse-rat a +17 a l'erosió marina. Tot l'espai des Buits és una immensa pedrera de marès que ha alterat el relleu originari (Fig. 8). Al N de ses Piquetes (sa Fosca), un caló de 80 m de diàmetre, subaix de l'espadat que cau de 40 fins a +5 m, sembla obert a expenses de l'eolianita adossada, explotada al flanc de mig-jorn. Ses Piquetes repeteixen el mateix esquema, en petit. Els anomenats es Turmassot des Mig i de sa Cova mostren exemples de duna adossada, eco fins als +18-21 m i un petit col·lapse al segon; l'espadat fallat s'alça fins als +40 m.

A la part N des Dolç des Bancassos destaquen dues puntetes que són un apèndix eolianític a partir de +7-8 m; la base, però,

són enderrocs del penyal. La punta des Bancassos, més massissa, deu tenir restes de duna grimpadora. Un altre gran jaciment explotat d'eolianita abasta s'Après i sa Dent (Fig. 4), al S de cala Figuereta, desprovista de dunes. Una depressió d'uns 40 m d'amplària que mossega des de +5 a +18 m és en realitat una gran "pedrera de rost" dins els mantells grimpadors; al mateix Après l'estructura dels sets s'aprecia magníficament (Fig. 9A). Abans d'arribar al caló des Màrmols, el cim de l'espadat és cobert per un mantell prim de top dunes (Fig. 9C) que, de vegades, mostren blocs descavalcats sobre la formació grimpadora (Fig. 9B).

A la vora esquerra des Màrmols s'aprecia una successió eolianítica de baix a alt: duna fina, materials gruixats de coster, duna groga més jove i potent amb concrecionaments calcaris per efecte de les arrels (Fig. 10). A l'altre costat -sud de la cova- la pun-

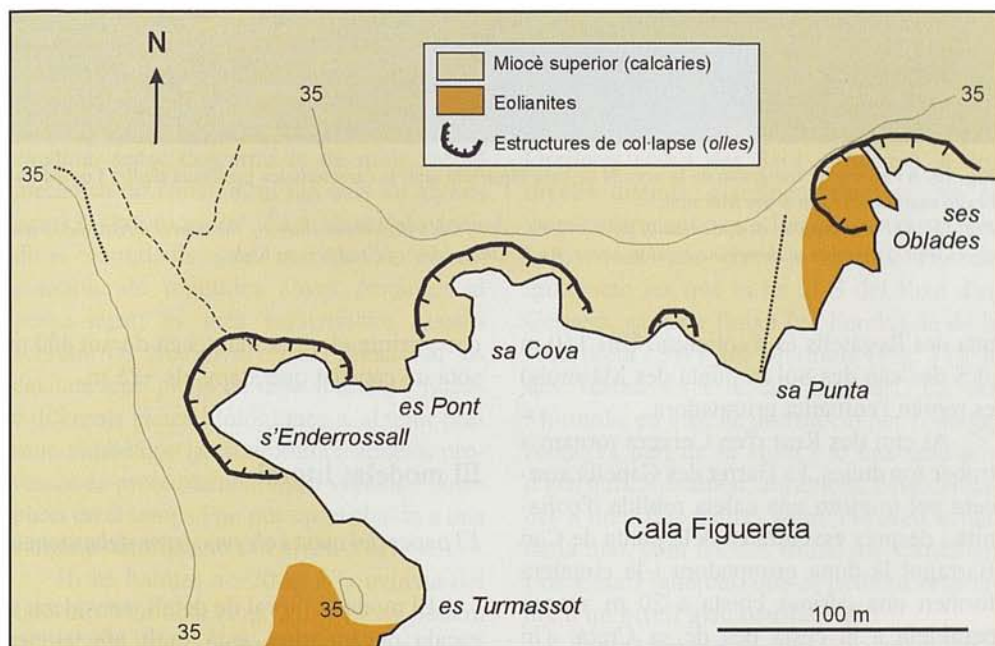
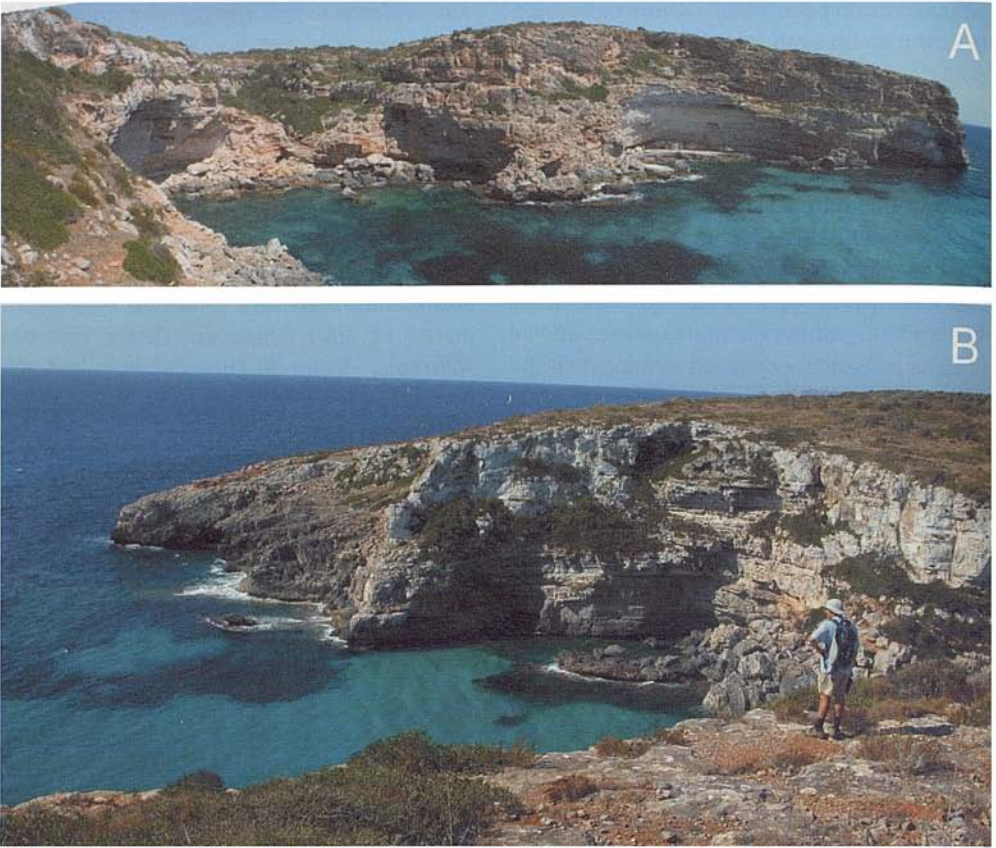


Fig. 14. Mapa geomorfològic simplificat de la zona de cala Figuereta.

Fig. 14. Simplified geomorphological map of Cala Figuereta.



**Fig. 15.** A) Muntatge fotogràfic de la vora N de cala Figuereta amb la característica presència d'olles i coves d'abrasió marina. B) Vora S des Màrmols.

**Fig. 15.** A) Photographic composition of the northern side of Cala Figuereta, showing the characteristic bowl-like coves (olles) together with marine erosion caves. B) Southern side of Es Màrmols bight.

teta des Regatells és d'eolianita. Uns 150 m al S des cap des Sol (o punta des Màrmols) es reprèn l'eolianita grimpadora.

Al cim des Rost d'en Cervera tornam a trobar *top* dunes. Es Barret des Capellà arre-cera pel migjorn una caleta rebllida d'eolia-nita i després esventrada. A la punta de Can Barragot la duna grimpadora i la cimatera formen una curiosa cresta a 20 m s.n.m., paral·lela a la costa des de sa Creta; s'hi combinen els dos tipus de duna. Finalment, a partir de sa Creta i cap al sud, els pegats de

duna grimpadora es mantenen durant 400 m sota un espadat que ateny els +25 m.

## El modelat litoral

### *El paper del carst i els processos delapsionals*

El modelat litoral de detall, considerat a escala decamètrica, està molt afectat per buidaments diversos que atribuïm, uns a processos de dissolució, d'altres a circulació



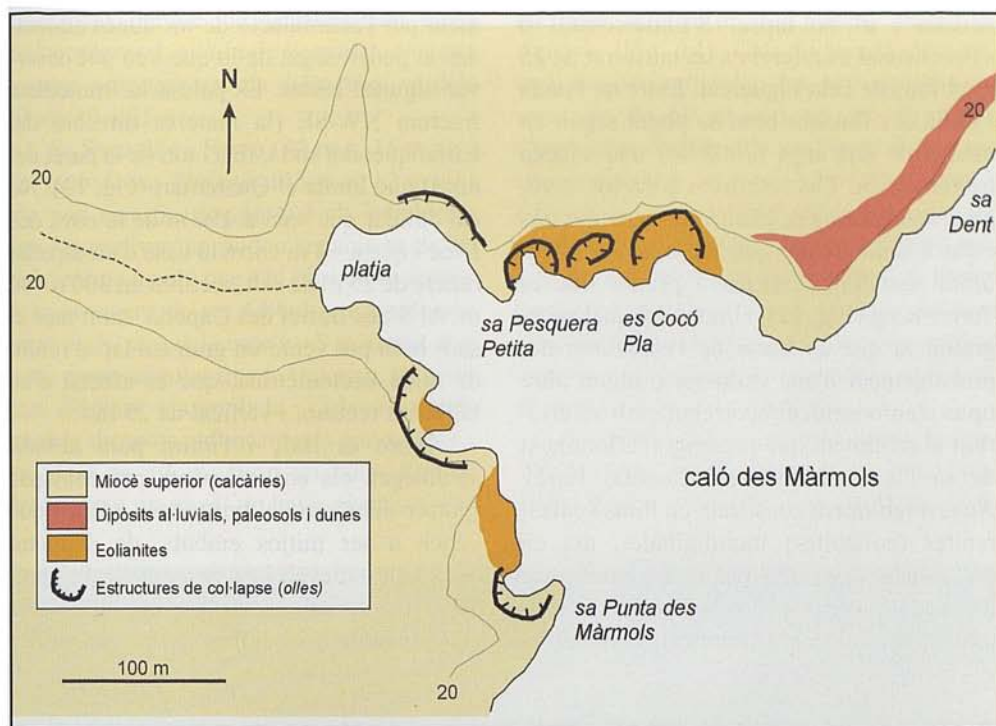


Fig. 16. Mapa geomorfològic simplificat de la zona des Màrmols.

Fig. 16. Simplified geomorphological map of Es Marmols.

càrstica, sense descartar ni de molt l'acció mecànica de l'onatge, ni tan sols en alguns casos la "tafonització". És molt mal de decidir si el mudadís nivell marí pot ser el responsable de repetides coves penjades al penya-segat; és més versemblant -ateses sobretot les altàries diverses- relacionar les cavitats amb plans de discontinuïtat, juntes o diferents fàcies litològiques. Cal tenir present, també que la cronologia d'aquests processos és probablement molt variada i complexa en el temps i no pot ser atribuïda a una simple estabilització del nivell marí.

Hi ha balmes a +20 m a la culassa del caló des Màrmols (Fig. 3), però en podem trobar al mateix espadat més alt des Bancassos (cova de ses Tres Boques) a +35 m i a l'oest del barranc penjat de ses

Orelletes (cova des Sant i d'altres), a dos nivells distints, clarament càrstics. No és gens sorprenent que a la mateixa vertical hi hagi coves -ara- d'erosió marina. Ho són igualment les que hi ha al S del Rost d'en Cervera, sa cova Baixa (na Fonda), la de la vora dreta (SW) des Màrmols (Fig. 11), la des Turmassot i la des Vellmarí. La des Màrmols, en vies de destrucció per l'onatge, conserva part de la volta i té una amplària d'uns 6 m. Romanen, altrament, coves situades a un o dos metres sobre el nivell actual de la mar, com les des Buits, des Carabiner i de Cala Figuereta, que sí podrien respondre a un nivell glacioeustàtic alt.

Tant la toponímia com l'observació més banal donen, com un dels processos més eficients en l'evolució dels penya-segats, la

solsida i el col·lapse. S'Enterrossall o s'Enterrossai es refereix a un tallsserrat de 25 m al fons de cala Figuereta. Entre na Fonda i s'olla des Bastons hom ha pogut seguir en menys de dos anys (2003-04) una solsida hectomètrica. Ens referirem sobretot, però, als enfonsaments de planta més o menys circular o semicircular que han marcat el tram litoral estudiat. Posarem a primer lloc es Terrer Roig (Fig. 12), el nom del qual no és gratuït ja que es tracta de l'esfondrament, probablement d'una exdolina o algun altre tipus d'enfonsament ocorregut amb anterioritat al rebliment que presenta (l'aflorent de sa Plana de Butzer i Cuerda, 1962). Aquest rebliment consisteix en llims i calca-renites (eolianites) interdigitades, ara en procés d'esventrament per erosió basal i que ha quedat protegit per la complexa disposició estructural de l'aflorent, i probable-

ment per l'acumulació de les dunes adossades al penya-segat de la que s'en pot observar algunes restes. És palesa la immediata fractura NW-SE (la mateixa direcció del barranquet del sud i, fins i tot, de la paret del nord) que limita el Quaternari (Fig. 13). No cal oblidar que som a 450 m de la cova des Drac i que a +4 m corre la base d'un espatat relicte de 25 m de salt, rectilini en 300 o 400 m. Al S des Barret des Capellà -molt més al sud- hom pot veure un gran col·lapse reblit, de mida hectomètrica, que és afectat d'un tallsserrat rectilini i vertical de 25 m.

Entre es Balç i l'últim punt al·ludit sovintegen els enfonsaments per col·lapse (potser olles seria el terme més adient) que vénen a ser mitjos embuts, de diàmetre oscil·lant entre 10 i 50 m a nivell d'aigua i 30 i 75 a la coronació, que impliquen una concavitat de la línia litoral. Insistim en llur



**Fig. 17.** Rasa pleistocènica fossilitzada per la seqüència al·luvial a la zona de sa Dent (entre cala Figuereta i es Màrmols).

**Fig. 17.** Pleistocenian marine erosional platform fossilized by an alluvial sequence at the zone called Sa Dent (between Cala Figuereta and Es Màrmols).



descripció perquè de vegades són cales embrionàries. L'altària de l'espadat, en certa manera proporcional als diàmetres, va dels 12 als 30 o 35 m.

Sa Seca de sa Fosca (70 m ø, 15 m alt.) i el racó de ses Piquetes (45 m ø, 12 m alt.) són poc significatius perquè els esbaldrecs que els motiven no poden separar-se de les pedreres de marès que s'hi obriren fa segles. A la pesquera de ses Oblades, un enfonsament de 50 m ø té la base a +5 m, llevat d'un trenc perpendicular que la travessa, tal volta una diàclasi eixamplada. Cala Figuereta reuneix diversos enfonsaments que arriben a un replà de +3 m, sigui un talús d'esbaldrecs, sigui un nivell de base; el més orien-

tal, però, arrenca de 0 m i ateny els 30 m d'altària (Fig. 14). Cala Figuereta demana una atenció particular. La seva culassa és una olla de 60 m ø i un arc de 270°, s'Enderrossall (Fig. 15), on "desemboca" un torrent penjat a +4,5 m. A la vora esquerra (NE) de la caleta trobam uns quants col·lapses més, a dos nivells, separats (es Pont) per una mena de pilastres de "formigó" de reblliment; el primer mirant mar endins té 40 m ø i el segon 35 i, a banda d'altres més petits i exteriors, descansen en una penya a +3 o 4 m confosa amb els esbaldrecs.

El caló des Màrmols -que centra la nostra recerca- també mostra els principals enfonsaments a la riba esquerra. Uns 80 m



**Fig. 18.** Barranc penjat a ses Orelletes-punta de sa Lleva que aprofita una fractura i condueix cap a un paleocol·lapse intramiocènic.

*Fig. 18.* Perched dry valley at Ses Orelletes-Punta de Sa Lleva, which exploits a fracture that connects with a intra-miocenic paleocolapse.



al NW de la punta de llevant s'hi observa un semicercle perfecte de 40 m  $\varnothing$ , però en forma d'embut i doble cingle des de +6 m, 20-24 i 33 m, respectivament (Fig. 16). Es cocó Pla -40 m més a l'oest- és una olleta llarguera que té el fons a +2 m, 12 m d'altària i 10 m  $\varnothing$ . Sa Pesquera Petita és una olla de 10 m  $\varnothing$ , oberta al mar i en evolució, amb blocs rodats decimètrics o mètrics i despreniment de la duna consolidada. A la vora dreta, els dos esvorancs tenen més de cova marina que d'enfonsament vertical (Fig. 11) a 0 m, encara que també hi ha coves al vorell del penya-segat. Adossat al cap des Sol i obert a NE, hi ha una olla molt perfecta de 32 m  $\varnothing$  i 12 m de caiguda directa a la mar. L'endinsada de la cova Baixa és un esfondrament amb tallsserrats que superen els 15 m i la de na Fonda, més neta i una mica més

còncava, arriba als 18 m gairebé a plom.

Abans d'arribar a l'olla des Bastons es troba un petit embut -un quart de cercle de 40 m de radi- combinat amb solsidecs recents. L'olla des Bastons, amb un diàmetre creixent de la base al vorell, de 45 a 70 m i pendents de 45 a 60°, mossega la isohipsa de 25 m; és un exemple modèlic del fenomen que analitzam. Gairebé el mateix podem predicar des Rost d'en Cervera, un magnífic embut (l'arc compleix els 250°) que amida 50 m  $\varnothing$  a 0 m i 75 a l'altitud de 27 m.

A banda dels fenòmens de mesoescala esmentats, hi ha nombroses olletes de menys de 20 m  $\varnothing$ , com una al S de sa Creta i moltes altres, males de definir genèticament. En es Bancassos, uns conductes verticals cilíndrics de només 5 m d'amplària hi entrarien. Finalment cal anotar, prop de la

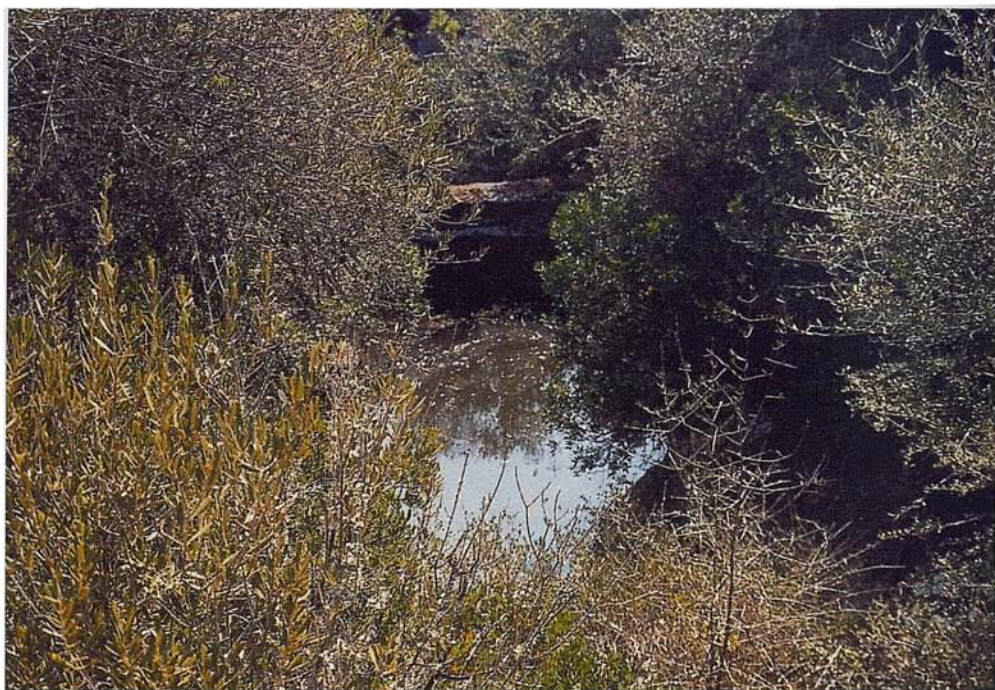


Fig. 19. Gorguet al torrent encaixat de cala Figuereta (a +31m).

*Fig. 19. Small pot-hole drilled in the bed of Cala Figuereta incised creek (elevation +31 m).*



punta des Màrmols, una marmita-cocó que documenta, segons que sembla, un escalonament eustàtic.

*El paper de l'estructura, la dinàmica marina i l'oscil·lació del nivell marí*

La línia de costa, presa a escala hectomètrica o quilomètrica, té la servitud abassegadora de l'estructura. Com que afecta una plataforma, el traçat litoral depèn molt més de les falles, fractures i diàclasis que no del capbussament dels estrats, el qual, sense ser uniforme, sempre és molt

moderat. Qualsevol observador pot comprovar una alineació predominant NE-SW, precisant més N 43° E, que, exceptuades les dues cales, amb prou feines és pertorbada per detalls d'erosió marina o d'acreció eòlica. A banda de fractures menors, s'escapen de l'arrumbament esmentat un tram del penya-segat de 35-40 m entre ses Piquetes i es Terrer Roig, d'uns 250 m (N 14° E) i un altre que es tradueix en un tallat de devers 30 m des de cala Figuereta fins a sa Dent amb un rumb N 10° W (Fig. 2). El rebaixament de l'altitud dels espadats marins, de més de 40 m as Balç fins a 20 m a na Fonda, és també una qüestió estructural, relaciona-



**Fig. 20.** La forma estrella del tram estudiat és sens dubte la cala. A la foto Es Màrmols, amb totes les formes i dipòsits associats: barranc, penya-segats, olles, coves marines, dipòsits eòlics i al·luvials.

*Fig. 20.* The most conspicuous landform in the studied area is undoubtedly the so-called cala. The picture shows Es Màrmols bight with all the associated features and deposits: dry valley, sea-cliffs, small coastal inlets, sea caves, aeolian and alluvial deposits.

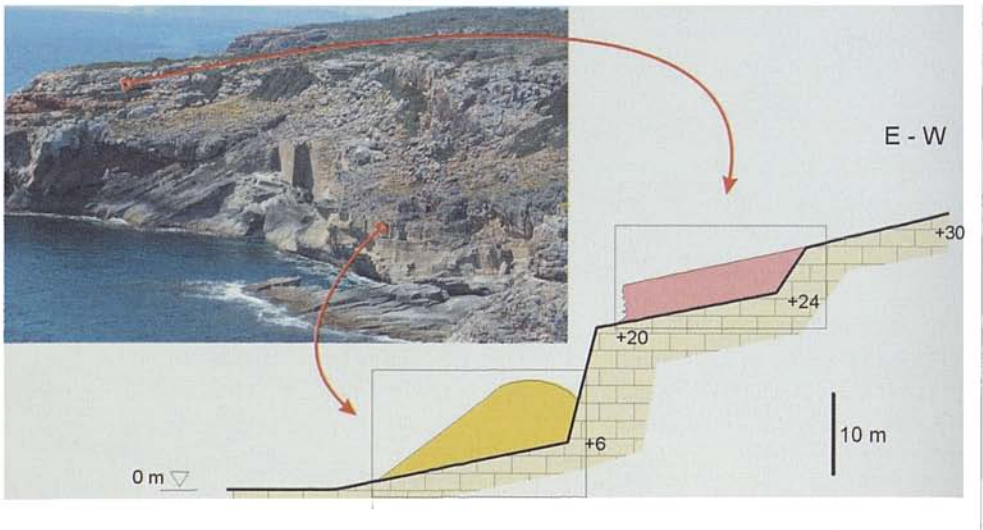
da amb el basculament de la plataforma carbonàtica vers sud (Fornós *et al.*, 2002).

El règim actual de temporals acusa un predomini dels procedents del tercer i quart quadrant, que no afecten gaire la nostra costa on es transformen en vents de llevant. Tampoc els podríem responsabilitzar de les acumulacions eòliques descrites. Tanmateix, els vents de gregal (NE) que durant el Würm assoliren un paper molt més destacat (Butzer, 1960) tenien que veure amb un caracteritzat centre depressionari situat a només 110 km al SSE del litoral que ens ocupa. El cas és que una bona part de les olles de col·lapse que hi trobam miren cap al SE, S i, fins i tot, SW. En canvi, les direccions registrades a les eolianites würmianes per Butzer (1961) oscil·len entre N 9° i 48° E.

#### *Les variacions quaternàries del nivell marí*

Les variacions quaternàries del nivell marí de motivació glacioeustàtica assoliren un

paper remarcable en la morfogènesi litoral. La multiplicitat de marques erosives o deposicionals que corresponen als episodis transgressius -els testimonis d'erosió regressiva, òbviament, resten sotaiguats- són molt difícils de sistematitzar per dues raons: perquè es confonen fàcilment amb discontinuïtats estratigràficolitològiques i perquè l'empastament de les eolianites superposades els camufla sovint. Butzer i Cuerda (1960) n'assenyalen molts, p.e., una rasa a +23-25 m as Màrmols-punta de sa Dent (Fig. 17). Un nivell de balma-rasa s'endevina també al flanc meridional des caló des Màrmols. Les coves es presenten a altàries molt diverses i resulta perillós establir-ne l'origen exclusivament marí. Un nivell recent -possiblement flandrià- a uns +2 m, el podríem considerar gairebé funcional, si no com a rasa en desenvolupament, sí com a base de cocons-marmites i olles i tot. N'hem citat un cas, més amunt, prop de la punta des Màrmols.



**Fig. 21.** Secció esquemàtica de la disposició estratigràfica i control morfològic dels dipòsits pleistocènics als penya-segats del sector cala Figuereta-es Màrmols.

*Fig. 21.* Schematic profile that displays both the stratigraphy and the morphological control of the pleistocene deposits occurring at the sea-cliffs, between Cala Figuereta and es Màrmols.



## Les cales

Hem avançat en altres treballs (Rosselló et al., 1997; 2002) que les cales són pene-tracions marines afavorides per la pree-xistència de barrancs o torrents encaixats i/o sistemes de fractures més o menys perpen-diculars a la línia litoral. Òbviament hi con-tribueix la peculiaritat del rocam calcari, propens a la dissolució i a l'enfonsament càrstic. Les dues caletes que tenim al terri-tori estudiat no són ni de les modèliques, ni de les més espectaculars, però -juntament amb destacats embuts d'enfonsament o olles- tenen prou interès per a que els dedi-quem alguns paràgrafs.

Parlar de sistema fluvial a les àrides terres del Migjorn mallorquí sembla un sar-casme i al nostre domini no podem esmen-tar més que aparells relictos, o sigui, testi-moni d'èpoques més humides i probable-ment més extenses: volem dir que, de part de mar s'han perdut per erosió, vicissituds tectòniques o transgressió, una part conside-rable de les conques, alguna de les quals ara es redueix a una rònega capçalera.

De totes les àrees de captació que abo-quen al tram litoral estudiat, no n'hi ha cap que arribi als 3 km<sup>2</sup>. A ses Orelletes-punta de sa Lleva, hi desembocaria un barranquet penjat a +6 m que té una branca NW-SE de 250 m, poc encaixada i una affluent des del WSW, més curta, però embotida aprofitant una fractura i que condueix cap a un paleo-col·lapse (Fig. 18). No té influència al traçat litoral. El fet de no posseir una conca sug-gereix un aparell escapat. La conca de cala Figuereta s'aproparia al quilòmetre quadrat, però la inclusió de la dolina des clot des Revellar la converteix en un extensió vir-tual, que no vol dir ineficaç. En efecte, al ramal occidental de prop de 300 m que segueix una palesa fractura E-W, hi ha un gorg a +31 m que conservava aigua fresca el

30 d'agost (Fig. 19). En aquest col·lector s'entravessen altres fractures o diàclasis, una de les quals dirigeix un canalet un poc més curt de N a S. Al caló des Màrmols hi abo-quen dos canals molt desiguals que podem considerar part d'una mateixa conca que supera els 2 km<sup>2</sup>. Cal no oblidar, altrament, que calcular impluvius en un territori arrei-cendorreic i, de més a més, molt antropitzat, no té gaire sentit. El petit col·lector de l'es-querra segueix una fractura N-S; el gran, torrent des Màrmols, enllaça una sèrie de fractures o línies de debilitat on alternen les direccions encreuades N 50° W i N 50° E. Fins a la subdivisió el canyó de 400 m de llarg s'encaixa 30 m; més amunt l'emboti-ment és més mòdic, però es manté 500 m en les dues direccions fins als +50 m. El torrent des Bous, no gaire marcat, té un curs de 700 m i una conca de 0,3 km<sup>2</sup>. A la seva teòrica desembocadura, penjada a +15 m, s'esdevé un anòmal canvi de direcció cap a l'esque-rra, que suggereix una altra vegada l'es-capçament d'un aparell més ampli. Més insignificants són encara, la conca i el canal del barranquet penjat just al N des Barret des Capellà, que travessa les isohipses 25-40 m. Per acabar ens detendrem al torrent d'en Barragot, amb una conca -virtual, és ver- de 0,9 km<sup>2</sup> i un desenvolupament lineal de 600 m i escaig, que mossega, com els des Màrmols, el planell de 50-60 m. És curiós anotar que, lluny de provocar una cala, la desembocadura sospesa del torrent s'acom-panya d'una prominència. El ramal del N, el més llarg, molt poc marcat, segueix de fet un paleocanal capturat pel segment embotit, gràcies a una fractura que reitera la direcció N 50° W.

Molts dels barrancs i torrents de sa Marina oriental han reexcavat dipòsits re-gressional (eolianites i llms) del Pleistocè superior o mitjà i els sediments no consoli-dats de l'Holocè antic. Per això, la incisió

originària d'aquests cursos ha de pertànyer al Pleistocè inferior o mitjà (Butzer, 1962). Per altra banda, l'erosió holocènica i actual, juntament amb la puja continuada del nivell marí ha desmantellat la majoria de les conques inferiors; així, només en cas de forts encaixament previst -deguts a processos càrstics i fluvials- s'ha mantengut un perfil acomodat a la desembocadura i la presumible cala.

A les dues petites cales que centren el sector estudiat, l'influx de les fractures només s'observa sobre el traçat fluvial: l'eix de penetració coincideix amb el del barranc. El modelat de les vores, en canvi, és complicat de manera molt intensa per enfonsaments o col·lapses de diversa magnitud (entre 5 i 45 m ø) que tenen un component càrstic i un altre de mecànic i ja hem esmentat en un paràgraf anterior. Cala Figuereta forma una doble concavitat, complicada pels esfondraments laterals, però l'eix fonamental s'alinea amb el torrent penjat que només s'encanyona cap a ponent (Fig. 15). El flanc esquerre del caló des Màrmols és obra dels col·lapses coronats per un cingle a +23 m (Fig. 20). El camí de davallada segueix una vigorosa fractura on s'ha encaixat el barranquet fins a +40 m; el principal incideix encara més i penetra al planell +50 m. Entre els dos torrentons hi ha balnes a devers 20 m d'altitud. La platja de còdols i blocs des Màrmols és l'única acumulació d'aquest tipus que podem esmentar; les platges d'arena manquen.

El paper de l'eolianita com a armadura protectora dels penya-segats és contrapesat per determinats casos on ha facilitat el socavament de la riba i, fins i tot, l'apertura d'una espècie de cales embrionàries (Fig. 20).

## Com a cloenda

El tram de litoral descrit representa un petit exemple del funcionament des del punt de vista geomòrfic del litoral mallorquí que correspon a les marines, resultat de la prolongació de la plataforma carbonatada miocena. La interrelació dels processos de modelat amb els processos sedimentaris configura un tipus característic de modelat dins de la complexa evolució glacioeustàtica quaternària.

La intercalació de dipòsits d'origen continental i d'origen eòlic (directament o indirectament marins) serveix per a materialitzar la confrontació de processos antagonistes. De part de terra, els sediments de coster, els ventalls detrítics, els despeniments, les eventuals torrentades tendeixen a la progració; de part de mar, la sapa de l'onatge i la dissolució mosseguen el continent. I tot s'embolica amb els mudaments del nivell del mar, que envaeix o es retira segons èpoques, i amb la sobreposició no condicionada per l'altitud de les dunes grimpadores. Un tall apressat del penya-segat al sud de cala Figuereta (Fig. 21) dona fe d'aquesta freqüent intercalació. És clar que els llims impliquen la meteorització de dipòsits anteriors, versemblantment dunars.

La implicació de les megaformes endocàrstiques (sistemes i cavitats subterrànies penetrables) en la configuració geomòrfica actual d'aquest sector del litoral mallorquí no és gaire decisiva, per bé que -en detall- la participació dels processos càrstics, i de la creació de porositat associada a l'endocarstificació (petites cavitats inconnexes, testimonis paleocàrstics...), resulta bastant més rellevant. De la mateixa manera la presència dels paleocol·lapses càrstics intramiocènics acaba de perfilar i condicionar el resultat final. Aquest corres-



pondrà a la interrelació de processos fluvials (al·luvials), marins, càrstics i sedimentaris que donen aquesta forma característica del litoral dominat, en línies generals, pels penya-segats i les cales.

## Agraïments

El present treball és una contribució al projecte de la Direcció General d'Investigació del Ministeri de Ciència i Tecnologia CGL2006-11242-CO3-01 i BTE2002-04552-CO3: "El modelado kárstico y la evolución morfológica y sedimentaria del litoral en las Baleares, Valencia y Cerdeña, como resultado de las oscilaciones del nivel marino". Lluís Gómez-Pujol és becar del programa FPI de la Direcció General de R+D+I del Govern de les Illes Balears i Jorge Riquelme ha comptat amb una beca dels hereus de la professora M. Pilar Fumanal. Volem agrair la bona disposició i col·laboració a Cosme Aguiló que ens ha acompanyat en diverses excursions i a la família Sarriera i Vargas-Zúñiga per les facilitats d'accés al Rafal des Porcs, així com al seu conductor, l'amo en Climent. També a n'Àngel Ginés que ens ha subministrat les dades topogràfiques inèdites de les cavitats subterrànies.

## Bibliografia

Balaguer, P. i Fornós, J.J. 2004. Erosión continua a partir de la desintegración granular en los acantilados costeros del SE de Mallorca (Islas Baleares, Mediterráneo occidental). In: Blanco, R., López, J. i Pérez Alberti, A. (eds). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*: 347-358. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.

Balaguer, P., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. 2002. Retroceso de los acantilados del Mioceno Superior en la costa sureste de Mallorca: los casos

de Estret d'es Temps i S'Alavern. In: Serrano, E. et al. (eds.). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial*: 341-350. Universidad de Valladolid, Valladolid.

Barón, A. 1977. *Estudio estratigráfico y paleontológico del Mioceno medio y superior postorogénico de la isla de Mallorca*. Premio Ciudad de Palma, 1975. 180 pp. (inèdit).

Butzer, K.W. 1960. Dynamic climatology of large-scale European circulation patterns in the Mediterranean area. *Meteor. Rundschau*, 13: 97-105.

Butzer, K.W. 1961. Paleoclimatic implications of Pleistocene stratigraphy in the Mediterranean area. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 95-1: 449-456.

Butzer, K.W. 1962. Coastal Geomorphology of Majorca. *Ann. of the Assoc. of American Geographers*, 52: 191-212.

Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1962. Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implication for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Jour. Geol.*, 70: 398-416.

Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1960. Nota preliminar sobre la estratigrafia y paleontología del Cuaternario marino del Sur y SE. de la isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. de Balears*, 6: 9-29.

Clemmensen, L.B., Lisborg, T., Fornós, J.J. and Bromley, R.G. 2001. Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bull. of the Geol. Soc. of Denmark*, 48: 217-232.

Esteban, M. 1979/80. Significance of the Upper Miocene reefs of the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29: 169-188.

Felton, E.A. 2002. Sedimentology of rocky shorelines: 1. A review of the problem with analytical methods, and insights gained from the Hulopoe Gravel and the modern rocky shoreline of Lanai, Hawaii. *Sedimentary Geology*, 152: 221-245.

Fornós, J.J. 1999. Karst collapse phenomena in the Upper Miocene of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Acta Geologica Hungarica*, 42/2: 237-250.

Fornós, J.J. i Pomar, L. 1984. Facies, ambientes y secuencias de plataforma carbonatada somera (Formación Calizas de Santanyí) en el Mioceno terminal de Mallorca (Islas Baleares). *Homenaje a L. Sánchez de la Torre. Publicaciones de Geología*, 20: 319-338.

Fornós, J.J. i Pomar, L. 1982. El complejo de manglar

- del Mioceno terminal de la Isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 207-228.
- Fornós, J.J., Gelabert, B., Ginés, A., Ginés, J., Tuccimei, P. i Vesica, P. 2002. Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of eastern Mallorca (Balearic Islands). *Geodinamica Acta*, 15: 113-125.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1987. Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1992. Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- Ginés, J. 1995. L'endocast de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: Ginés, A. i Ginés, J. (eds.) *El karst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86. Palma de Mallorca.
- Pomar, L., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. 1985. Reef and shallow carbonate facies of the Upper Miocene of Mallorca. In: Milà, M.D. & Rosell, J. *6th European Regional Meeting, Excursion Guidebook*, Excursion No. 11, 493-518.
- Pomar, L., Marzo, M. i Barón, A. 1983. El Terciario de Mallorca. In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-erea, A. (eds.) *El Terciario de las Baleares. Libro Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología*. Menorca. pp. 21-44.
- Roselló, V.M., Fornós, J.J., Fumanal, M.P., Pardo, J.E. i Rodríguez-Perea, A. 1997. Elementos morfogenéticos de calas y barrancos del sur de Menorca. *Dinámica Litoral-Interior. Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles*. Santiago, 15-19 setiembre 1997, I: 245-256.
- Roselló, V.M., Fornós, J.J., Gelabert, B., Giménez, J., Ginés, J., Pardo, J.E. i Segura, F. 2002. El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las Islas Baleares. In: Carrasco, G., Durán, J.J. y B. Andreo (eds.) *Karst and Environment*. 329-335.